寄主植物对双尾新小绥螨运动速率及捕食能力的影响

张燕南[1,2,#]，顾佳敏[1,#]，陈　静[1]，王佩玲[1,*]，张建萍[1,*]

(1. 石河子大学农学院，新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用自治区高校重点实验室，新疆建设兵团绿洲生态农业省部共建国家重点实验室培训基地，新疆石河子 832000；2. 绵阳师范学院生命科学与技术学院，四川绵阳 621000)

摘要：【目的】捕食螨运动速率直接影响其捕食能力。本研究分析了5种寄主植物对捕食螨——双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* 运动速率的影响，旨在探究双尾新小绥螨在不同寄主植物上对土耳其斯坦叶螨的捕食能力。【方法】采用数字图像处理技术，分析双尾新小绥螨雌成螨在菜豆 *Phaseolus vulgaris*、棉花 *Gossypium hirsutum*、番茄 *Solanum lycopersicum*、茄子 *Solanum melongena* 和黄瓜 *Cucumis sativus* 上的运动速度，进一步采用小室观察法比较了寄主植物对双尾新小绥螨捕食功能反应的影响。【结果】双尾新小绥螨在5种寄主植物上的运动速度依次为：菜豆(0.62 cm/s)和棉花(0.60 cm/s) > 黄瓜(0.38 cm/s)和茄子(0.36 cm/s) > 番茄(0.27 cm/s)。进一步捕食功能反应结果表明，在5种寄主植物上，双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食量均随猎物密度的增加而升高，增加到一定程度后趋于缓和，其捕食类型均属于Holling Ⅱ型。双尾新小绥螨在菜豆上对土耳其斯坦叶螨的攻击系数(a)最高，为1.124；在棉花上的处理时间(T_h)最短，为0.059。同时，在菜豆和棉花上的捕食能力较强，a/T_h 值分别为18.177和16.763；而在番茄、茄子和黄瓜上的捕食能力较弱，a/T_h 值分别为6.780, 6.537和6.369。【结论】双尾新小绥螨在棉花和菜豆上的运动速度最快，同时捕食能力也最强。

关键词：双尾新小绥螨；土耳其斯坦叶螨；寄主植物；运动速率；捕食功能反应

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2018)09-1047-07

Effect of host plants on the movement rate and predation ability of *Neoseiulus bicaudus* (Mesostigmata: Phytoseiidae)

ZHANG Yan-Nan[1,2,#], GU Jia-Min[1,#], CHEN Jing[1], WANG Pei-Ling[1,*], ZHANG Jian-Ping[1,*] (1. Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resource Utilization, Universities of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture, Xinjiang Production and Construction Group, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2. College of Life Science and Technology, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan 621000, China)

Abstract: 【Aim】The predation ability of *Neoseiulus bicaudus* depends on its movement rate. This study analyzed the effect of five host plants on the movement rate of *N. bicaudus* in order to explore the predation ability of *N. bicaudus* to *Tetranychus turkestani* on different host plants. 【Methods】The

基金项目：国家重点研发计划项目(2017YFD0201900)；兵团杰出青年基金(2014CD004)

作者简介：张燕南，女，1989年4月生，甘肃陇南人，博士研究生，研究方向为害虫生物防治，E-mail：1074379346@qq.com；顾佳敏，男，1990年5月生，陕西汉中人，硕士研究生，研究方向为害虫生物防治，E-mail：726662637@qq.com

[#]共同第一作者 Authors with equal contribution

[*]通讯作者 Corresponding authors, E-mail：597737526@qq.com；zhjp_agr@shzu.edu.cn

收稿日期 Received：2018-02-23；接受日期 Accepted：2018-06-28

movement rates of female adults of *N. bicaudus* on five host plants including green bean (*Phaseolus vulgaris*), cotton (*Gossypium hirsutum*), tomato (*Solanum lycopersicum*), eggplant (*Solanum melongena*) and cucumber (*Cucumis sativus*) were recorded by digital image processing technology, and the effects of host plants on the predating functional response of *N. bicaudus* were compared by direct observation. 【Results】 The movement rates of *N. bicaudus* on the fivehost plants ranked in the descending order as green bean (0.62 cm/s) and cotton (0.60 cm/s) > cucumber (0.38 cm/s) and eggplant (0.36 cm/s) > tomato (0.27 cm/s). Further study on predating functional responses of *N. bicaudus* on the five host plants indicated that the prey consumption increased as the prey density increased until it reached a plateau where the consumption rate remained constant, exhibiting a Holling type II response. The attack rate (a) of *N. bicaudus* against *T. turkestani* on green bean (1.124) was the highest. The handling time (T_h) on cotton (0.059) was the shortest. The predation abilities of *N. bicaudus* on green bean and cotton were strong, with the a/T_h values of 18.177 and 16.763, respectively, while those on tomato, eggplant and cucumber were weak, with the a/T_h values of 6.780, 6.537 and 6.369, respectively. 【Conclusion】 On green bean and cotton, the movement rates of *N. bicaudus* are the fastest and its predation ability is the strongest.

Key words: *Neoseiulus bicaudus*; *Tetranychus turkestani*; host plants; movement rate; predating functional response

双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* 隶属于中气门亚目(Mesostigmata)植绥螨科(Phytoseiidae)新小绥螨属 *Neoseiulus*,是 2013 年在新疆首次发现的本地捕食螨,其个体小、发育快,对新疆特殊气候条件具有先天的适应性(王振辉等, 2015; Zhang *et al.*, 2016; 李永涛, 2016; Li *et al.*, 2016),其对土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestani*、截形叶螨 *T. truncatus* 和烟蓟马 *Thrips tabaci* 等微小昆虫均具有一定的捕食能力(王振辉等, 2015; Zhang *et al.*, 2017)。

捕食功能反应是评价捕食性天敌对猎物捕食能力大小的重要参数,捕食者的捕食能力是捕食者-猎物系统种群动态的关键因素之一(Takafuji and Deguchi, 1980; Hoy and Glenister, 1991)。捕食功能反应受很多非生物因素的影响,如温度、湿度等,同时也受到很多生物因素的影响,如猎物类型、捕食者性别、寄主植物种类等(Grostal and O'Dowd, 1994; Allahyari *et al.*, 2004; Collier *et al.*, 2007; 熊忠华等, 2012)。其中寄主植物的表面结构特征通过对捕食螨的栖境选择、附着休息、转移、运动速度等行为的直接影响而间接影响对猎物的捕食效率(Krips *et al.*, 1999; Loughner *et al.*, 2010; 李艳艳等, 2013),生物防治能否成功有时取决于寄主植物的种类(Gustavo *et al.*, 2011)。

双尾新小绥螨和土耳其斯坦叶螨均个体小,其活动更易受到植物表面结构微环境的影响。因此,分析捕食螨在植物表面运动速率可为研究捕食螨的捕食能力提供最直接的研究基础。本研究通过数字图像处理技术和小室直接观察法,分析双尾新小绥螨在土耳其斯坦叶螨比较喜欢取食的 5 种寄主植物上的运动速度,以及其对土耳其斯坦叶螨的捕食能力,以期更准确评价双尾新小绥螨在大田对土耳其斯坦叶螨的控制效果。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试害螨:供试土耳其斯坦叶螨采自石河子大学农学院试验站(44°18′N, 86°03′E)。在光照培养箱(EYELA FLI-2000H)(温度 26 ± 1℃,相对湿度 60%,光周期 16L: 8D)内以盆栽菜豆苗饲养 120 代以上,建立试验种群。

1.1.2 供试双尾新小绥螨:供试双尾新小绥螨采自新疆维吾尔自治区伊犁地区,在实验室光照培养箱内(同 1.1.1 节)用土耳其斯坦叶螨饲养,建立试验种群。

1.1.3 供试植物:番茄 *Solanum lycopersicum*(品种:红玛瑙 140)、菜豆 *Phaseolus vulgaris*(品种:双季豆)、黄瓜 *Cucumis sativus*(品种:水果黄瓜)、茄子 *Solanum melongena*(品种:紫长茄)和棉花 *Gossypium hirsutum*(品种:海高 49 号)。种子均购买于石河子种子经营店。5 种寄主植物种子均种植于 1.5 L 营

养钵中，在光照培养箱（EYELA FLI-2000H）内栽培，至植株叶片长至真叶期待用。

1.2　不同寄主植物对双尾新小绥螨运动速率的影响

将不同寄主植物用剪刀裁取直径为 5 cm 的圆形叶片，周围用浸湿的海绵围住防止捕食螨逃逸。用 0 号毛笔随机挑取 1 头室内饲养的双尾新小绥螨雌成螨于不同寄主植物圆片上，用摄像头开始拍摄捕食螨的运动状态，拍摄时长为 1 min。在 Visual Studio 2015 中配置 OpenCV3.0 环境，编写相关程序获取视频信息（视频帧率、视频总帧数、视频宽、高），将 1 min 的视频以 0.2 s 为基准分割成图像（陆伟艳等，2007；瞿中等，2009；蒋鹏和秦小麟，2012），对图像中的捕食螨进行标记（图 1）。标记方法为：用特定颜色在视频画面中捕食螨图像的正中间点上一点。基于数字图像算法精确得到捕食螨每 0.2 s 的位置坐标，在笛卡尔坐标系中绘制出其运动轨迹图（于俊清等，2002；王江宁和纪力强，2011；刘国成等，2015）。根据如下公式计算出捕食螨的运动速率：

$$v = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}}{n}$$

对 v 进行单位换算。在同样的拍摄环境下，拍摄一张坐标纸，计算出坐标纸占据的总像素个数，将总像素个数与坐标纸相除，得出单位像素的面积，然后开方，得出单位像素的长度 a（张进秋和李帼，2009）。捕食螨的真正速度 $V = a * v$。每种寄主植物上捕食螨重复 5 次求平均值。

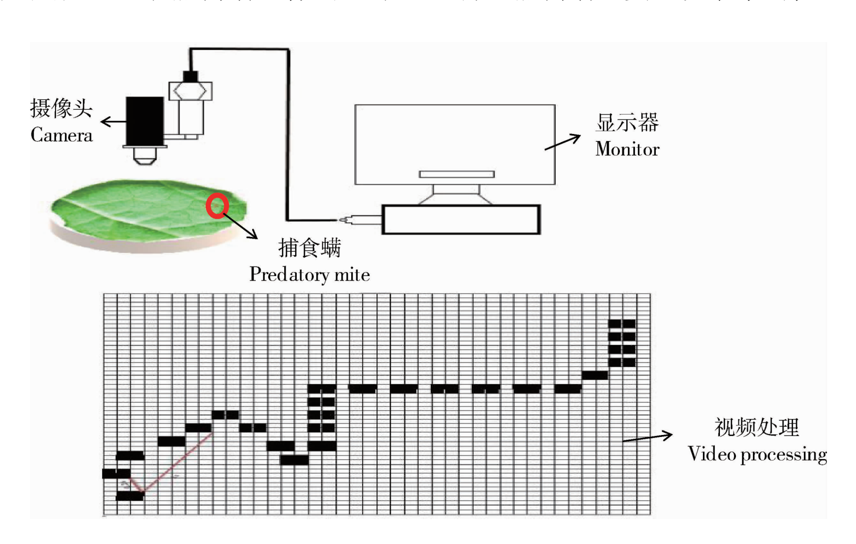


图 1　试验装置示意图

Fig. 1　The schematic diagram of experimental setup

1.3　寄主植物对双尾新小绥螨捕食能力的影响

用黄瓜、棉花、茄子、番茄、菜豆叶片分别制作饲养小室（Xu *et al.*，2013）。在每种寄主植物上，将土耳其斯坦叶螨雌成螨按 3，6，9，12 和 15 头/皿的 5 个密度接入饲养小室中。之后，将 1 头饥饿处理 24 h 的双尾新小绥螨雌成螨接入以上小室，每个处理重复 15 次。以上试验均在 26 ±1℃，RH 60%，光周期 16L∶8D 条件下进行。24 h 后观察其捕食量。

1.4　数据分析

捕食功能反应数据处理，采用逻辑斯蒂回归对猎物被捕食量与其初始量之间关系进行捕食功能反应分析（Trexler *et al.*，1989）。回归方程为：

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1N_0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1N_0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3)}$$

式中，N_e 代表被捕食的叶螨数量，N_0 代表叶螨初始量，P_0，P_1，P_2 和 P_3 分别代表常数、线性系数、二次方系数和三次方系数；其中，如果 $P_1 > 0$，则反应类型为 Holling Ⅰ型；如果 $P_1 < 0$ 并且捕食比例在下降，则说明功能反应为 Holling Ⅱ型；如果 $P_1 > 0$ 且 $P_2 < 0$则功能反应类型为 Holling Ⅲ型。

当逻辑斯蒂回归分析为 Holling Ⅱ型时，此后，将运用 Holling 圆盘方程来拟合被捕食叶螨数量（N_e）和叶螨初始量（N_0）之间的关系。圆盘方程为：

$$N_e = aN_0T/(1 + aN_0T_h)$$

式中，a 为捕食者攻击系数，T(24 h) 为捕食总时间，T_h 为捕食者每处理单位个数猎物的时间。将圆盘方程转化得到：

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{aT} \cdot \frac{1}{N_0} + \frac{T_h}{T}$$

a 和 T_h 采用非线性拟合（NLIN）来估计，用 $a/$

T_h 值评价双尾新小绥螨的捕食能力。当 N_0 趋于无穷大时，N_e 即为每头天敌最大的捕食量，此时，$Ne = 1/T_h$。分析过程均在 SPSS 18.0 中进行。

运动速率的所有处理均在 Visual Studio 2015 环境中使用 Opencv3.0，C++和 Excel 2010 中完成。

2 结果

2.1 不同寄主植物对双尾新小绥螨运动轨迹及速率的影响

在不同寄主植物上，双尾新小绥螨的运动轨迹结果见图 2。基于运动轨迹计算的运动速率结果表明，在菜豆(0.62 cm/s)和棉花(0.60 cm/s)上的运动速率和其他 3 种寄主植物上的运动速率存在显著性差异($P < 0.05$)；而在黄瓜(0.38 cm/s)和茄子(0.36 cm/s)上的运动速率没有显著性差异；在番茄上运动速率最低，为 0.27 cm/s。

2.2 双尾新小绥螨在不同寄主植物上对土耳其斯坦叶螨的捕食功能反应

2.2.1 双尾新小绥螨在不同寄主植物上对土耳其斯坦叶螨的捕食量：在黄瓜、棉花、茄子、番茄、菜豆上，双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食量均随土耳其斯坦叶螨密度的增大而增大。在 5 种寄主植物上捕食量在密度为 15 头/皿时，平均捕食量最高分别达到 4.60 ± 0.34，8.40 ± 0.46，4.87 ± 0.52，4.80 ± 0.35 和 8.60 ± 0.32 头/d(表 1)。在不同密度下，在菜豆和棉花上的捕食量都最高，且和其他几种寄主植物存在显著差异($P < 0.05$)。

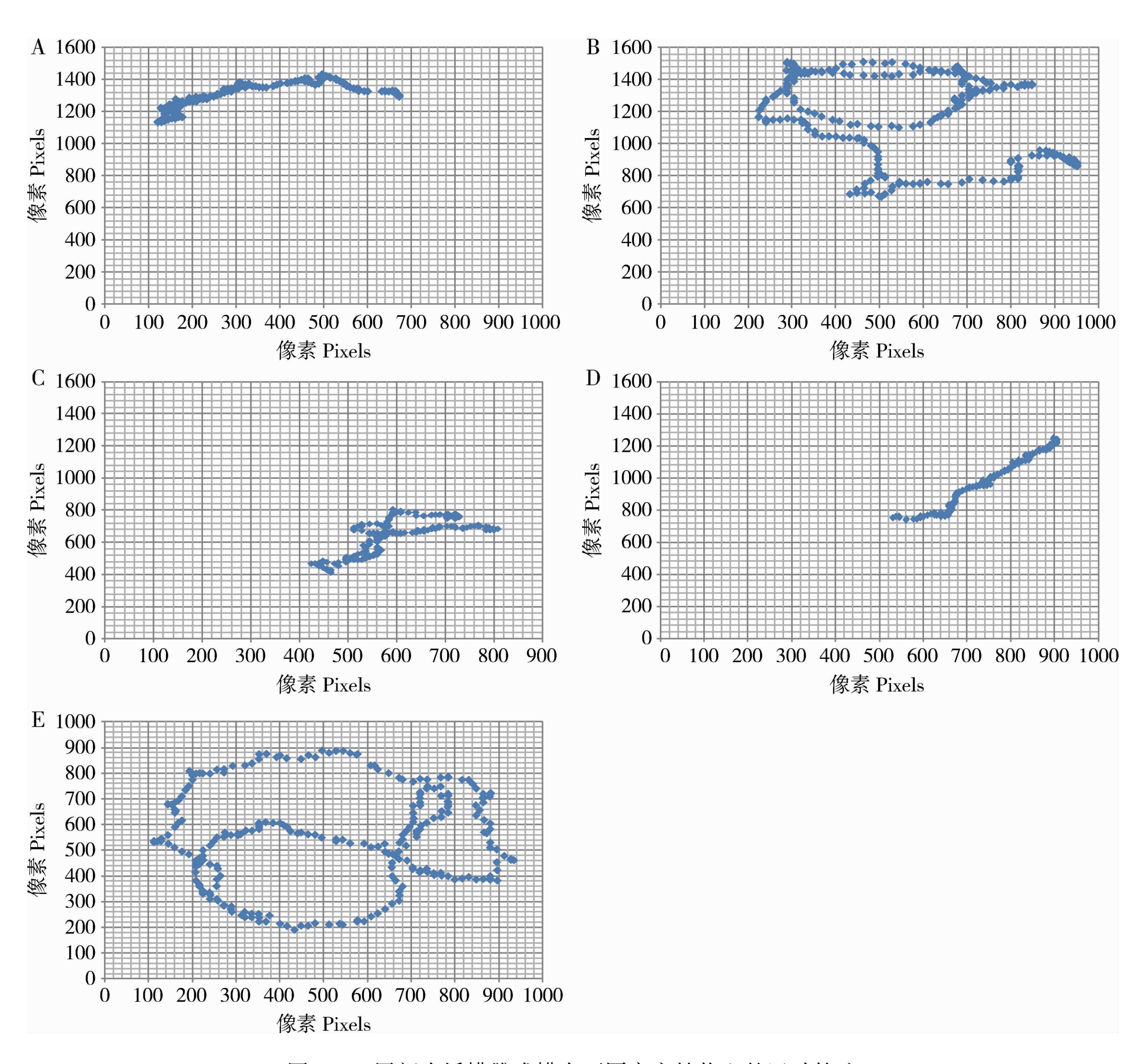


图 2 双尾新小绥螨雌成螨在不同寄主植物上的运动轨迹

Fig. 2 Movement trajectory of female adults of *Neoseiulus bicaudus* on different host plants

A：黄瓜 *Cucumis sativus*，B：棉花 *Gossypium hirsutum*，C：茄子 *Solanum melongena*，D：番茄 *Solanum lycopersicum*，E：菜豆 *Phaseolus vulgaris*.

表 1　双尾新小绥螨雌成螨在 5 种寄主植物上对不同密度土耳其斯坦叶螨雌成螨的捕食量(头/d)

Table 1　Number of adult females of *Tetranychus turkestani* of different densities consumed per day by female adults of *Neoseiulus bicaudus* on five host plants

植物种类 Plant species	害螨密度(头/皿) Density of spider mites (Number of individuals/dish)				
	3	6	9	12	15
黄瓜 Cucumber	1.87 ±0.17 b	3.00 ±0.20 b	4.00 ±0.24 b	4.27 ±0.48 b	4.60 ±0.34 b
棉花 Cotton	2.53 ±0.13 a	4.33 ±0.16 a	5.20 ±0.34 a	7.60 ±0.36 a	8.40 ±0.46 a
茄子 Eggplant	1.93 ±0.18 b	3.07 ±0.32 b	3.93 ±0.43 b	4.20 ±0.42 b	4.87 ±0.52 b
番茄 Tomato	1.80 ±0.11 b	3.13 ±0.31 b	3.87 ±0.22 b	4.53 ±0.29 b	4.80 ±0.35 b
菜豆 Green bean	2.80 ±0.11 a	4.73 ±0.25 a	6.00 ±0.14 a	7.40 ±0.39 a	8.60 ±0.32 a

表中数值为平均值 ± 标准误;同一列数据后不同字母表示 Duncan 氏检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are means ± *SE*, and those followed by different letters in a column are significantly different ($P<0.05$, Duncan's test).

2.2.2　双尾新小绥螨在不同寄主植物上对土耳其斯坦叶螨的捕食功能反应类型:对 5 种寄主植物上双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食作用进行逻辑斯蒂回归可知,其线性系数(P_1)均小于 0(表 2),均符合 Holling Ⅱ方程的标准。

表 2　双尾新小绥螨雌成螨在 5 种寄主植物上对土耳其斯坦叶螨雌成螨捕食量的估计值

Table 2　Logistic analysis of the predating functional response of adult females of *Neoseiulus bicaudus* feeding on female adults of *Tetranychus turkestani* on five host plants

植物种类 Plant species	回归系数 Regression coefficient	估值 Estimate	标准误 Stand error *SE*	*t*
黄瓜 Cucumber	P_0	1.5455	0.9393	1.6454
	P_1	−0.3511	0.4093	−0.8579
	P_2	0.0206	0.0506	0.4066
	P_3	−0.0005	0.0019	−0.2818
棉花 Cotton	P_0	1.8687	0.7286	2.5650
	P_1	−0.2399	0.3174	−0.7559
	P_2	0.0138	0.0393	0.3522
	P_3	−0.0003	0.0014	−0.2229
茄子 Eggplant	P_0	2.0848	1.2093	1.7240
	P_1	−0.5074	0.5269	−0.9631
	P_2	0.0339	0.0652	0.5204
	P_3	−0.0009	0.0024	−0.3639
番茄 Tomato	P_0	0.8306	0.7382	1.1252
	P_1	−0.1441	0.3217	−0.4481
	P_2	0.0026	0.0398	0.0648
	P_3	0.0000	0.0015	−0.0067
菜豆 Green bean	P_0	4.6890	0.6445	7.2753
	P_1	−0.9990	0.2808	−3.5573
	P_2	0.0832	0.0347	2.3933
	P_3	−0.0024	0.0013	−1.8802

表中同一列中所有系数经 Duncan 氏检验差异均极显著($P<0.000$)。All the P values in a column are significantly different ($P<0.000$) (Duncan's test).

2.2.3　双尾新小绥螨在不同寄主植物上对土耳其斯坦叶螨雌成螨的捕食功能反应参数:双尾新小绥螨在黄瓜、棉花、茄子、番茄和菜豆上对土耳其斯坦叶螨的攻击系数(a)分别为:0.823, 0.981, 0.878, 0.759 和 1.124;处理时间(T_h)分别为:0.129, 0.059, 0.064, 0.112 和 0.062(表 3)。在 5 种寄主植物上对土耳其斯坦叶螨的捕食能力(a/T_h)和日最大捕食量均有不同,在菜豆和棉花上的捕食能力最大,分别为 18.177 ±0.943 和 16.763 ±2.397,且和其他 3 种植物上的捕食能力差异显著($P<0.05$);在菜豆和棉花上的日最大捕食量分别为 16.179 ± 0.458 和 17.087 ±1.498,也和其他 3 种植物上的日最大捕食量存在显著性差异($P<0.05$)(表 3)。

3　结论与讨论

目前,大多数关于昆虫运动速度的研究局限于获得其速度结果,而对昆虫运动过程缺乏观测。本研究为更为准确地分析捕食螨运动过程,对捕食螨运动全过程进行了观测和记录。传统的研究方法大多是基于肉眼观察、手动标记,如陈俊谕等(2016)基于 Nakamuta 装置模型,肉眼观测瓢虫运动并做标记,最终将标记点拟合成瓢虫的行为轨迹。本研究中捕食螨相对于瓢虫体型太小,体色也与叶片颜色相近,当捕食螨沿着叶脉凹陷边缘运动时,肉眼很难观测到捕食螨的具体位置,如采用以上研究方法将会产生不可避免的误差。因此,本研究提出了基于图像处理技术的捕食螨行为学研究辅助系统——基于单目视觉的图像采集平台,获取捕食螨在作物叶片表面运动的视频,经过图像处理算法对视频进行处理,获取捕食螨整个行为过程中的所有数据,根据这些数据实现轨迹重现、运动参数可视化以及搜索距离和搜索速度的精准测定。

表 3　双尾新小绥螨雌成螨在 5 种寄主植物上对土耳其斯坦叶螨雌成螨捕食功能反应参数

Table 3　Parameter estimates (± *SE*) of the random predation equation for adult females of *Neoseiulus bicaudus* feeding on adult females of *Tetranychus turkestani* on five host plants

植物种类 Plant species	攻击系数 Attack rate (95% CI) a	处理时间 Handling time (95% CI) T_h	R^2	捕食能力 Predation ability a/T_h	日最大捕食量 Maximum predation number *Ne*
黄瓜 Cucumber	0.823 (0.745 – 0.897)	0.129 (0.119 – 0.139)	0.996	6.369 ± 0.420 b	7.738 ± 0.239 b
棉花 Cotton	0.981 (0.855 – 1.158)	0.059 (0.043 – 0.074)	0.987	16.763 ± 2.397 a	17.087 ± 1.498 a
茄子 Eggplant	0.878 (0.806 – 0.932)	0.064 (0.125 – 0.140)	0.998	6.537 ± 0.299 b	7.553 ± 0.152 b
番茄 Tomato	0.759 (0.704 – 0.805)	0.112 (0.102 – 0.122)	0.989	6.780 ± 0.459 b	8.324 ± 0.789 b
菜豆 Green bean	1.124 (1.059 – 1.206)	0.062 (0.057 – 0.067)	0.998	18.177 ± 0.943 a	16.179 ± 0.458 a

CI：置信限 Confidence interval.

寄主植物表面毛特征是影响捕食螨运动速度的重要因子之一。作者曾采用体视显微镜(Zeiss Discovery V20)测量了供试 5 种寄主植物表面绒毛的结构特征，表明菜豆和棉花叶片表面毛生长柔软，且数量较少，而黄瓜、茄子表面毛生长坚硬且长度较长，同时番茄表面毛生长虽然柔软，但是数量较多(Zhang *et al.*, 2016)。本研究中双尾新小绥螨在菜豆和棉花上的运动速率和捕食能力均较高，在黄瓜、茄子寄主植物上运动速率和捕食能力则较低，说明寄主植物叶表绒毛较少有利于捕食螨运动和捕食，而叶表绒毛多则相反。Madadi 等(2007)也研究了黄瓜、茄子和辣椒叶表绒毛对胡瓜新小绥螨捕食葱蓟马 1 龄幼虫的影响，表明胡瓜新小绥螨在表面毛状物较少的辣椒上的处理时间较短，与本研究结果一致。这可为针对不同大田作物释放捕食螨提供参考。

捕食功能反应反映捕食者对食物的寻找能力、处理效应以及最大捕食量，以及捕食者部分捕食行为和害虫行为及密度因素对捕食性昆虫捕食的影响，了解寄主植物对捕食功能反应的影响，能为大田有效释放提供基础(Skirvin and Fenlon, 2001；莫利锋等, 2012)。国内外对其他捕食螨的捕食功能反应已有大量报道，其中智利小智绥螨 *Phytoseiulus persimilis*(Skirvin and Fenlon, 2003)，胡瓜小绥螨 *Neoseiulus cucumeris* (Madadi *et al.*, 2007)和加州新小绥螨 *N. californicus* (Ahn *et al.*, 2010)的捕食类型均属于 Holling Ⅱ。本研究结果表明双尾新小绥螨的捕食类型与以上研究结果相同。双尾新小绥螨在 5 种寄主植物上的捕食量不同，这与熊忠华等(2012)对尼氏真绥螨 *Euseius nicholsi* 在 5 种寄主植物上的捕食量有差异的研究结果也一致。以上结果意味着在大田应根据不同寄主植物来确定捕食螨的不同释放比例。

寄主植物表面是一个复杂的微环境，影响捕食螨运动的因子也很复杂，其他因子如叶螨结网程度、叶表蜡质层、叶水分及营养成分等是否影响其捕食量都有待进一步研究。同时，捕食功能反应是在室内离体植株进行研究，而大田寄主植物的生长状态对猎物生长发育及其天敌昆虫的控害能力均存在影响，复杂的大田生态环境更与捕食性天敌对害螨的防控效果相关。因此，双尾新小绥螨在大田应用潜力有待深入研究。

参考文献 (References)

Ahn JJ, Kim KW, Lee JH, 2010. Functional response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on strawberry leaves. *J. Appl. Entomol.*, 134(2): 98 – 104.

Allahyari H, Fard PA, Nozari J, 2004. Effects of host on functional response of offspring in two populations of *Trissolcus grandis*, on the sunn pest. *J. Appl. Entomol.*, 128 (1): 39 – 43.

Chen JY, Ma HB, Zhang FP, Han DY, Fu YG, 2016. Changes in the movement patterns of adult *Stethorus parapauperculus* in response to starvation. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 53(1): 140 – 147. [陈俊谕, 马华博, 张方平, 韩冬银, 符悦冠, 2016. 不同饥饿程度的拟小食螨瓢虫成虫摄食朱砂叶螨前后的运动格局变化. 应用昆虫学报, 53(1): 140 – 147]

Collier KFS, Albuquerque GS, Lima JOGD, Pallini A, Molina-Rugama AJ, 2007. *Neoseiulus idaeus* (Acari: Phytoseiidae) as a potential biocontrol agent of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in papaya: performance on different prey stage-host plant combinations. *Exp. Appl. Acarol.*, 41(1): 27 – 36.

Grostal R, O′Dowd DJ, 1994. Plants, mites and mutualism: leaf domatia and the abundance and reproduction of mites on *Viburnum tinus* (Caprifoliaceae). *Oecologia*, 97(3): 308 – 315.

Gustavo QR, Rodrigo DD, Adriana TS, Luiz FM, Feres RJF, Woodruff

WB, 2011. Mites and leaf domatia: no evidence of mutualism in *Coffea arabica* plants. *Biota Neotrop*., 11(1): 27 – 34.

Hoy CW, Glenister CS, 1991. Releasing *Amblyseius* spp. [Acarina: Phytoseiidae] to control *Thrips tabaci* [Thysanoptera: Thripidae] on cabbage. *BioControl*, 36(4): 561 – 573.

Jiang P, Qin XL, 2009. Adaptive key-frames extraction based on visual attention model. *J. Image Graph*., 14(8): 1650 – 1655. [蒋鹏, 秦小麟, 2009. 基于视觉注意模型的自适应视频关键帧提取. 中国图象图形学报, 14(8): 1650 – 1655]

Krips OE, Kleijn PW, Willems PEL, Gols GJZ, Dicke M, 1999. Leaf hairs influence searching efficiency and predation rate of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol*., 23(2): 119 – 131.

Li YT, Jiang JYQ, Huang YQ, Wang ZH, Zhang JP, 2016. Effects of temperature on development and reproduction of *Neoseiulus bicaudus* (Phytoseiidae) feeding on *Tetranychus turkestani* (Tetranychidae). *Syst. Appl. Acarol*., 20(5): 478 – 490.

Li YT, Liu M, Pan YF, Zhang YN, Zhang JP, 2016. Effects of brief exposure of *Neoseiulus bicaudus* Wainste into high temperature. *Chin. J. Appl. Entomol*., 53(1): 40 – 47. [李永涛, 刘敏, 潘云飞, 张燕南, 张建萍, 2016. 短时高温暴露处理对双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein 生长发育的影响. 应用昆虫学报, 53(1): 40 – 47]

Li YY, Zhou XR, Pang BP, 2013. Effect of host plants on the functional response of *Hippodamia variegata* (Goeze) to *Aphis gossypii* Glover. *J. Environ. Entomol*., 35(5): 688 – 693. [李艳艳, 周晓榕, 庞保平, 2013. 瓜蚜寄主植物对多异瓢虫捕食功能反应的影响. 环境昆虫学报, 35(5): 688 – 693]

Liu GC, Zhang Y, Huang JH, Tang WL, 2015. A method for image segmentation and recognition of spider mites based on K-means clustering algorithm. *Acta Entomol. Sin*., 58(12): 1338 – 1343. [刘国成, 张扬, 黄建华, 汤文亮, 2015. 基于 K-means 聚类算法的叶螨图像分割与识别. 昆虫学报, 58(12): 1338 – 1343]

Loughner R, Wentworth K, Loeb G, Nyrop J, 2010. Influence of leaf trichomes on predatory mite density and distribution in plant assemblages and implications for biological control. *Biol. Control*, 54(3): 255 – 262.

Lu WY, Xia DY, Liu Y, 2007. An approach of key frame extraction based on mutual information. *Microcomput. Inform*., 23(11-3): 298 – 300. [陆伟艳, 夏定元, 刘毅, 2007. 基于内容的视频检索的关键帧提取. 微计算机信息, 23(11-3): 298 – 300]

Madadi H, Enkegaard A, Brodsgaard HF, Kharrazi-Pakdel A, Mohaghegh J, Ashouri A, 2007. Host plant effects on the functional response of *Neoseiulus cucumeris* to onion thrips larvae. *J. Appl. Entomol*., 131(9 – 10): 728 – 733.

Mo LF, Zhi JR, Zhang CR, 2012. Effect of host plants on predatory of *Orius similis* to *Frankliniella occidentalis*. *Guizhou Agric. Sci*., 40(9): 136 – 139. [莫利锋, 郅军锐, 张昌容, 2012. 寄主植物对南方小花蝽捕食西花蓟马的影响. 贵州农业科学, 40(9): 136 – 139]

Qu Z, Gao TF, Zhang QQ, 2012. Study on an improved algorithm of video key frame extraction. *Comput. Sci*., 39(8): 300 – 303. [瞿中, 高腾飞, 张庆庆, 2012. 一种改进的视频关键帧提取算法研究. 计算机科学, 39(8): 300 – 303]

Skirvin DJ, Fenlon JS, 2001. Plant species modifies the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): implications for biological control. *Bull. Entomol. Res*., 91(1): 61 – 68.

Skirvin DJ, Fenlon JS, 2003. The effect of temperature on the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol*., 31: 37 – 49.

Takafuji A, Deguchi K, 1980. Functional responses of a predacious phytoseiid mite in different sizes of experimental universe. *Appl. Entomol. Zool*., 15(3): 355 – 357.

Trexler JC, McCulloch CE, Travis J, 1989. How can the functional response best be determined? *Oecologia*, 78(4): 571 – 571.

Wang JL, Ji LY, 2011. The methods of insect image segmentation and their application. *Acta. Entomol. Sin*., 54(2): 211 – 217. [王江宁, 纪力强, 2011. 昆虫图像分割方法及其应用. 昆虫学报, 54(2): 211 – 217]

Wang ZH, Li YT, Li T, Lu YH, Zhang JP, Xu XN, 2015. The morphology and predatory behavior of the mite *Neoseiulus bicaudus*. *Chin. J. Appl. Entomol*., 52(3): 580 – 586. [王振辉, 李永涛, 李婷, 陆宴辉, 张建萍, 徐学农, 2015. 双尾新小绥螨的形态特征及捕食性功能. 应用昆虫学报, 52(3): 580 – 586]

Xiong ZH, Xiong JM, Li HX, Wang XH, 2012. Difference of predatory capacity for *Euseius nicholsi* from five different host plants preying on *Panonychus citri*. *Biol. Disas. Sci*., 35(2): 157 – 160. [熊忠华, 熊件妹, 李海霞, 王新辉, 2012. 5 种寄主上的尼氏真绥螨对柑橘红蜘蛛的捕食能力差异研究. 生物灾害科学, 35(2): 157 – 160]

Xu XN, Wang BM, Wang ED, Zhang ZQ, 2013. Comments on the identity of *Neoseiulus californicus* sensu lato (Acari: Phytoseiidae) with a redescription of this species from southern China. *Syst. Appl. Acarol*., 18(4): 329 – 344.

Yu JQ, Zhou DR, Liu J, Cai B, 2002. Extracting key frames from video based on text and image information. *Comput. Eng. Appl*., (9): 83 – 85. [于俊清, 周洞汝, 刘军, 蔡波, 2002. 基于文字和图像信息提取视频关键帧. 计算机工程与应用, (9): 83 – 85]

Zhang JQ, Li G, 2009. Solution of transform formula between image pixel distance and space distance. *Soft. Guid*., 8(12): 179 – 180. [张进秋, 李帼, 2009. 图像像素距离与空间距离变换公式的求解. 软件导刊, 8(12): 179 – 180]

Zhang YN, Guo DD, Jiang JYQ, Zhang YJ, Zhang JP, 2016. Effects of host plant species on the development and reproduction of *Neoseiulus bicaudus* (Phytoseiidae) feeding on *Tetranychus turkestani* (Tetranychidae). *Syst. Appl. Acarol*., 21(5): 647 – 656.

Zhang YN, Jiang JY, Zhang YJ, Qiu Y, Zhang JP, 2017. Functional response and prey preference of *Neoseiulus bicaudus* (Mesostigmata: Phytoseiidae) to three important pests in Xinjiang, China. *Environ. Entomol*., 46(3): 538 – 543.

（责任编辑：赵利辉）